

HIỆU QUẢ TÁCH VI NHỰA TRONG NƯỚC THẢI CÔNG NGHIỆP BẰNG QUÁ TRÌNH KEO TỤ - LẮNG VÀ LỌC

Phạm Văn Toàn^{1*}, Nguyễn Phương Anh¹, Nguyễn Đắc Thanh Thanh¹,
Mai Thành Kha¹, Huỳnh Quốc Khánh¹, Kiều Lê Thủy Chung²,
Trương Trần Nguyễn Sang²

¹Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ;

²Trung tâm Nghiên cứu về nước khu vực châu Á, Trường Đại học Bách khoa,
Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

*Tác giả liên hệ: pvtoan@ctu.edu.vn

Nhận bài: 09/08/2023 Hoàn thành phản biện: 21/11/2023 Chấp nhận bài: 22/11/2023

TÓM TẮT

Vi nhựa có nguồn gốc từ nguyên vật liệu thô công nghiệp và sản phẩm thứ cấp đã được tìm thấy trong nước thải công nghiệp. Trong nghiên cứu này, hiệu suất loại bỏ hạt vi nhựa trong nước thải công nghiệp bằng phương pháp keo tụ - lắng và phương pháp lọc được đánh giá. Quá trình keo tụ - lắng đạt kết quả loại bỏ vi nhựa với hiệu suất 45%. Quá trình lọc với nghiệm thức 1 (cát thạch anh) đạt hiệu suất loại bỏ là 58,73%, đối với nghiệm thức 2 (than hoạt tính gáo dừa) là 52,94% và với nghiệm thức 3 (cát thạch anh + than hoạt tính gáo dừa) là 47,92%. Kết quả loại bỏ vi nhựa của cả quá trình keo tụ - lắng và lọc đạt hiệu suất 74,49%. Việc chọn được vật liệu lọc phù hợp, nhất là vật liệu bản địa, chi phí thấp, có tiềm năng cao trong loại bỏ vi nhựa trong nước.

Từ khóa: Keo tụ - lắng, Nước thải công nghiệp, Lọc, Vi nhựa

EFFICIENCY OF MICROPLASTIC SEPARATION IN INDUSTRIAL WASTEWATER USING THE FLOCCULATION - SEDIMENTATION, AND FILTRATION PROCESS

Pham Van Toan^{1*}, Nguyen Phuong Anh¹, Nguyen Dac Thanh Thanh¹,
Mai Thanh Kha¹, Huynh Quoc Khanh¹, Kieu Le Thuy Chung²,
Truong Tran Nguyen Sang²

¹College of Environmental and Natural Resources, Can Tho University;

²The Asian Center for Water Research, Ho Chi Minh City University of Technology.

ABSTRACT

Microplastics derived from raw materials and by-products have been discovered in industrial wastewater. This study was conducted to evaluate the effectiveness of removing microplastics from industrial wastewater by using the coagulation - sedimentation and filtration method. The highest removal efficiency of microplastics by coagulation - sedimentation process was 45%. The filtration process achieved the following results for treatment 1 (quartz sand) with a removal efficiency of 58.73%; for treatment 2 (coconut shell activated carbon) with a removal efficiency of 52.94%; and for treatment 3 (quartz sand and coconut shell activated carbon) with a total removal efficiency of 47.92%. The overall effectiveness in removing microplastics of the coagulation - sedimentation and filtration process was 74.49%. A selection of locally suitable filtration materials with low cost has a high potential in removing microplastics from water.

Keywords: Filtration, Coagulation - Sedimentation, Industrial wastewater, Microplastics

1. MỞ ĐẦU

Vi nhựa (Microplastics-MPs) là chất ô nhiễm mới, gây ra các mối đe dọa lớn đối với sức khỏe con người và hệ sinh thái thủy sinh. Vi nhựa được phân loại theo nhiều kích cỡ, tùy thuộc vào kích thước mắt lưới của lưới lấy mẫu và phương pháp phân tích vi nhựa, nhưng dao động từ 1 μm đến 5 mm (Chubarenko và cs., 2016; Acarer, 2023). Theo nguồn gốc phát sinh, vi nhựa được phân loại thành vi nhựa sơ cấp và thứ cấp (GESAMP, 2015). Nhựa có khối lượng riêng khác nhau tùy thuộc vào loại polyme và quá trình chế tạo. Nhìn chung khối lượng riêng của nhựa dao động từ dưới 0,05 g/cm^3 đối với nhựa xốp polystyrene đến 2,1 – 2,3 g/cm^3 đối với poly tetrafluoroethylene (Teflon). Các vi nhựa có khối lượng riêng nhỏ hơn nước có khuynh hướng nổi lên bề mặt trong môi trường nước, chịu tác động bởi gió, sóng nên dễ bị trôi dạt (Hackett và cs., 2006), hay có thể bị loại bỏ khỏi nước thải trong các hệ thống xử lý bằng phương pháp tuyển nổi (Acarer, 2023); trong khi các vi nhựa có khối lượng riêng lớn hơn nước có khuynh hướng lắng xuống vùng trầm tích ở các nguồn nước (Chubarenko và cs., 2016) hay bùn thải trong các bể lắng của hệ thống xử lý nước thải (Acarer, 2023). Theo hình dạng, vi nhựa thường tồn tại ở ba dạng: sợi, hạt và dạng mảnh với những dạng hình học khác nhau. Diện tích bề mặt và cấu trúc của vi nhựa cũng là tính chất quan trọng, được quan tâm trong các phương pháp loại bỏ vi nhựa ra khỏi nước.

Vi nhựa có nguồn gốc từ các loại vật liệu nhựa được sử dụng trong sinh hoạt hay các lĩnh vực công nghiệp, nông nghiệp, đánh bắt cá... Trong các nghiên cứu gần đây cho thấy vi nhựa hiện diện trong nước ở các nhà máy xử lý nước thải, đặc biệt là trong các hệ thống xử lý nước thải (HTXLNT) công nghiệp (Liu và cs., 2021; Gkika và cs., 2023). Đây là nơi tiếp nhận nước thải có chứa các vi nhựa từ sinh hoạt và từ các loại hình sản xuất khác nhau. Phát triển phương pháp để loại bỏ vi nhựa khỏi nước đang được quan tâm nhiều trong thời

gian gần đây. Bộ lọc than sinh học thể hiện khả năng loại bỏ vi nhựa từ nước cao vì hầu như không có vi nhựa nào được phát hiện sau áp dụng chúng trong hệ thống xử lý nước (Wang và cs., 2020). Bên cạnh đó, việc áp dụng kỹ thuật lọc sinh học cho thấy hiệu suất loại bỏ vi nhựa từ nước đến 79% về số lượng hạt và 89% về khối lượng hạt. Bộ lọc cát có thể loại bỏ vi nhựa trong nước với hiệu suất 99,2% - 99,9% (Wolff và cs., 2020). Việc bổ sung chất keo tụ vào nước làm mất tính ổn định của các keo nước, liên kết chúng với nhau cùng với các chất lơ lửng và kết thành các bông cặn. Các vi nhựa có thể bám vào các bông cặn này và được loại bỏ khỏi nước nhờ quá trình lắng. Keo tụ - lắng có hiệu suất loại bỏ vi nhựa là 99,4% (Rajala và cs., 2020). Tỷ lệ loại bỏ đạt 97% với polyester (PET) và 99% đối với polyetylen (PE). Các hạt vi nhựa PE lớn có khả năng kháng lại sự keo tụ, với việc loại bỏ 82% hạt vi nhựa quan sát được trong các điều kiện keo tụ tăng cường. Các hạt vi nhựa PE bị biến tính có hiệu suất loại bỏ bởi quá trình keo tụ lắng có thể đạt tới 99% vì sự biến tính có thể làm thay đổi độ nhám và hóa tính bề mặt hạt nhựa, từ đó tác động đến ái lực của hạt nhựa với các chất keo tụ (Lapointe và cs., 2020). Trong một khảo sát của nhóm tác giả gần đây đã phát hiện rằng trong nước thải công nghiệp sau xử lý vẫn còn sự hiện diện của hạt vi nhựa (kết quả chưa được công bố). Sự hiện diện của hạt vi nhựa trong nước thải sau xử lý cũng đã phát hiện ở nhiều nghiên cứu (Sol và cs., 2020; Masiá và cs., 2020; Ali và cs., 2021; Sol Sánchez và cs., 2021). Đây là một trong các nguồn phát thải vi nhựa trực tiếp vào môi trường tiếp nhận sông rạch, cuối cùng là biển và đại dương. Từ những thực trạng trên, nghiên cứu này đã tiến hành các thí nghiệm để đánh giá khả năng loại bỏ hạt vi nhựa bằng phương pháp keo tụ - lắng, kết hợp với lọc.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Nước thải dùng trong nghiên cứu được lấy tại hồ thu gom nước thải công nghiệp, thuộc HTXLNT tập trung tại Khu công nghiệp Trà Nóc, phường Phước Thới, quận Ô Môn, Thành phố Cần Thơ. Nước thải từ bể thu gom phía sau song chắn rác được bơm lên bồn chứa, sau đó nước từ bồn được trữ trong các can nhựa 30 L, rồi được vận chuyển về phòng thí nghiệm. Vật chất lắng ở đáy can nhựa được giữ lại, chỉ phần nước bên trên được lấy làm thí nghiệm.

Chất keo tụ Poly Aluminium Chloride (PAC) với độ tinh khiết 31% được sử dụng cho thí nghiệm keo tụ - lắng. Liều lượng chất keo tụ và pH phù hợp cho quá

trình keo tụ và lắng được xác định thông qua thí nghiệm Jarrest.

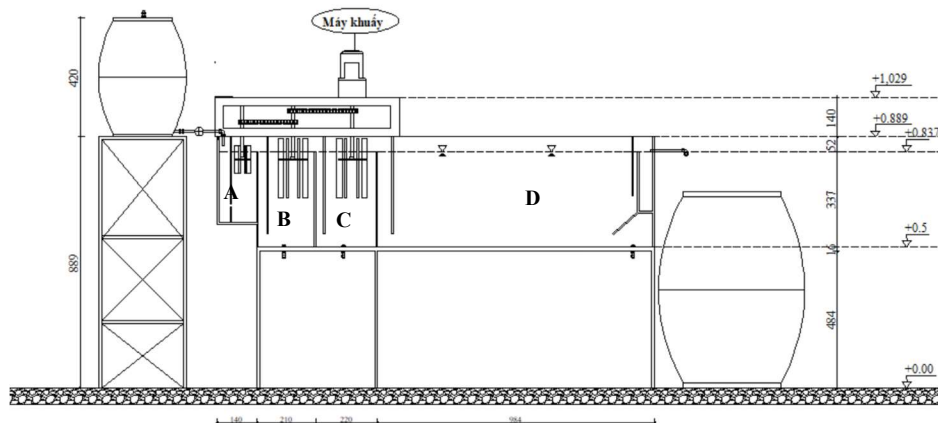
Vật liệu lọc gồm cát thạch anh, than hoạt tính gáo dừa và sỏi thạch anh được sử dụng trong mô hình cột lọc của thí nghiệm lọc, với các thông số kỹ thuật như Bảng 1.

2.2. Mô hình thí nghiệm và vận hành mô hình

Nghiên cứu được thực hiện với hai công đoạn nối tiếp nhau: công đoạn keo tụ - lắng và công đoạn lọc, bằng hai mô hình tương ứng gồm mô hình bể keo tụ-lắng và mô hình cột lọc. Mô hình bể keo tụ - lắng (Hình 1) được chế tạo bằng thủy tinh với cấu tạo gồm 3 ngăn khuấy và 1 ngăn lắng, với các kích thước được tính toán trong Bảng 2.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật của vật liệu lọc

Thông số	Đơn vị	Giá trị
A. Than hoạt tính gáo dừa dạng hạt:		
+ Đường kính	mm	0,85 - 2,38
+ Khối lượng riêng	kg/m ³	500
+ Diện tích bề mặt	m ² /g	956
+ Thể tích lỗ xốp	cm ³ /g	0,745
B. Cát thạch anh:		
+ Đường kính	mm	0,4 - 0,8
+ Khối lượng riêng	kg/m ³	1.300 - 1.400
C. Sỏi thạch anh:		
+ Đường kính	mm	5 - 10
+ Khối lượng riêng	kg/m ³	2.500-2.800



A: Ngăn khuấy 1; B: Ngăn khuấy 2; C: Ngăn khuấy 3; D: Ngăn lắng

Hình 1. Sơ đồ quy trình công nghệ của công đoạn lắng

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của bể keo tụ - lắng

Thông số	Đơn vị	Ngăn khuấy 1	Ngăn khuấy 2	Ngăn khuấy 3	Ngăn lắng
Thể tích	m ³	0,004	0,013	0,014	0,061
Chiều rộng	m	0,14	0,21	0,22	0,984
Diện tích mặt cắt ngang	m ²	0,014	0,039	0,04	0,018
Diện tích bản cánh khuấy	m ²	0,003	0,008	0,008	-
Đường kính cánh khuấy	m	0,03	0,05	0,05	-
Công suất động cơ của máy khuấy	W	0,003	0,002	0,0001	-

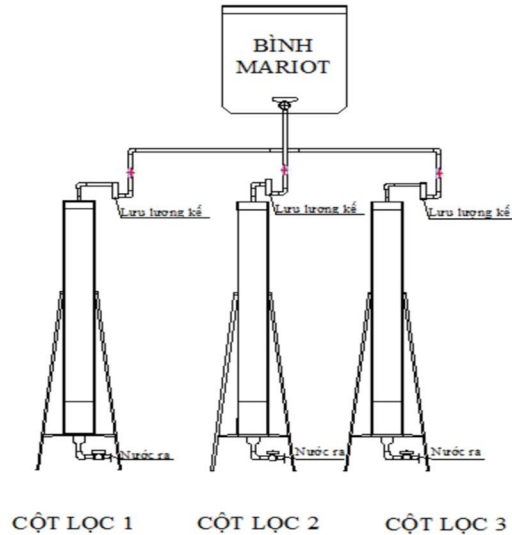
Mô hình thí nghiệm lọc gồm 3 cột (nhựa PVC, đường kính 140 mm), tương ứng với 3 lần lặp lại của mỗi thí nghiệm lọc (Hình 2). Mỗi cột lọc có gắn lưu lượng kế điều chỉnh lưu lượng nước 1 L/phút ở đầu vào và một van lấy mẫu ở đầu ra. Thí nghiệm lọc được bố trí gồm 3 nghiệm thức với sự kết hợp của 3 loại vật liệu gồm: Cát

thạch anh, than hoạt tính gáo dừa và sỏi thạch anh. Cụ thể như sau:

- Nghiệm thức 1 (NT1): Sỏi thạch anh + Cát thạch anh.
- Nghiệm thức 2 (NT2): Sỏi thạch anh + Than hoạt tính.
- Nghiệm thức 3 (NT3): Sỏi thạch anh + Cát thạch anh + than hoạt tính gáo dừa

Bảng 3. Các thông số chính của cột lọc ứng với các nghiệm thức

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Chiều cao cột lọc	m	1,44
Đường kính cột lọc	m	0,14
<i>NT1: Sỏi thạch anh + cát thạch anh</i>		
Chiều cao lớp sỏi	m	0,2
Chiều cao lớp cát	m	1
<i>NT2: Sỏi thạch anh + than hoạt tính</i>		
Chiều cao lớp sỏi	m	0,2
Chiều cao lớp than hoạt tính	m	1
<i>NT3: Sỏi thạch anh + cát thạch anh + than hoạt tính</i>		
Chiều cao lớp sỏi	m	0,2
Chiều cao lớp cát	m	0,5
Chiều cao lớp than hoạt tính	m	0,5



Hình 2. Mô hình thí nghiệm lọc

Vận hành mô hình thí nghiệm keo tụ - lắng: Nước thải trữ trong thùng mariot được cho chảy vào mô hình keo tụ - lắng với lưu lượng ổn định 2 L/phút. Dung dịch phèn PAC được châm và trộn đều với nước thải ở ngăn khuấy 1 của mô hình. Nước thải chảy vào ngăn khuấy 1, 2 và 3 có thiết bị khuấy được vận hành với tốc độ lần lượt là 200, 80 và 30 vòng/phút (được xác định từ thí nghiệm Jarrest) để đảm bảo PAC được trộn đều; đồng thời pH nước cũng được điều chỉnh để tạo điều kiện tối ưu cho quá trình keo tụ. Sau khi lưu ở các ngăn khuấy 1, 2, và 3 lần lượt với thời gian lưu được chọn 2, 6 và 7 phút (Trịnh Xuân Lai, 2004), nước thải chảy qua ngăn lắng và được lưu ở đây với thời gian 30 phút. Khi thời gian lắng kết thúc, mẫu nước đầu ra được lấy phân tích. Nước sau mô hình keo tụ - lắng được sử dụng cho thí nghiệm lọc trên mô hình cột lọc. Thí nghiệm keo tụ - lắng được lặp lại 3 lần, mẫu nước ở đầu vào và đầu ra mô hình sau mỗi thí nghiệm được lấy phân tích.

Vận hành mô hình thí nghiệm lọc: Nước thải sau công đoạn keo tụ - lắng ở mô hình keo tụ-lắng được trữ trong bình mariot. Nước từ bình mariot được cho chảy đồng thời qua 3 lưu lượng kế được nối với 3 cột lọc; đảm bảo nước qua từng cột lọc với lưu lượng 1 L/phút. Sau 15 phút vận hành để nước chảy qua các cột ổn định, mẫu nước ở đầu ra của từng cột được lấy một lần để phân tích. Thí nghiệm được vận hành với mỗi nghiệm thức lặp lại 3 lần tương ứng với 3 cột lọc. Vật liệu trong 3 cột được thay mới để tiến hành thí nghiệm đối với 2 nghiệm thức còn lại.

2.3. Phương pháp lấy mẫu và phân tích mẫu

Mẫu nước ở đầu vào và đầu ra mô hình của thí nghiệm keo tụ - lắng và mẫu đầu ra mô hình của thí nghiệm lọc được lấy ứng với từng thí nghiệm. Các chỉ tiêu hóa lý của mẫu nước gồm pH, EC, độ đục và SS được phân tích theo các phương pháp trình bày ở Bảng 4.

Bảng 4. Các phương pháp phân tích chỉ tiêu hóa lý

Chỉ tiêu	Tên phương pháp lấy mẫu
pH	TCVN 6492:2011
Chất rắn lơ lửng (SS)	TCVN 6625:2000
Độ đục	Máy đo độ đục cầm tay Hanna HI98703-2
Độ dẫn điện (EC)	Máy đo EC cầm tay Hanna HI9811-5

Vi nhựa hiện diện trong nước được phân tích kích thước và hình dạng hạt theo phương pháp của Strady và cộng sự (2021) như mô tả ở Hình 3. Mẫu nước thải công nghiệp được lấy và chứa trong các chai thủy tinh 500 mL, rồi phân tích theo quy trình như sau:

Bước 1: Sàng lấy mẫu

Mẫu nước chứa trong chai thủy tinh được sàng bằng cách chuyển qua rây sàng phân tích cỡ hạt Haver & Boecker có cỡ lỗ 1mm bằng thép không gỉ và tráng chai bằng nước lọc. Phần vi nhựa [$\geq 1000 \mu\text{m}$] trên rây được lấy bằng nhíp kim loại và đặt lên giấy lọc GF/A trong đĩa petri trữ để phân tích. Phần vi nhựa [$< 1000 \mu\text{m}$] qua rây có lẫn các thành phần khác trong nước. Chuyển nước vào chai thủy tinh 500 mL.

Bước 2: Khử mẫu

Thêm 1g SDS vào nước trong chai thủy tinh, lắc chai trong 2 phút. Cho chai vào tủ sấy ở 50°C trong 24 h. Thêm 1 mL Bioenzyme F và 1mL Bioenzyme SE vào chai, lắc chai trong 2 phút, cho vào tủ sấy ở 40°C trong 48 h. Thêm vào 15 mL H_2O_2 , lắc

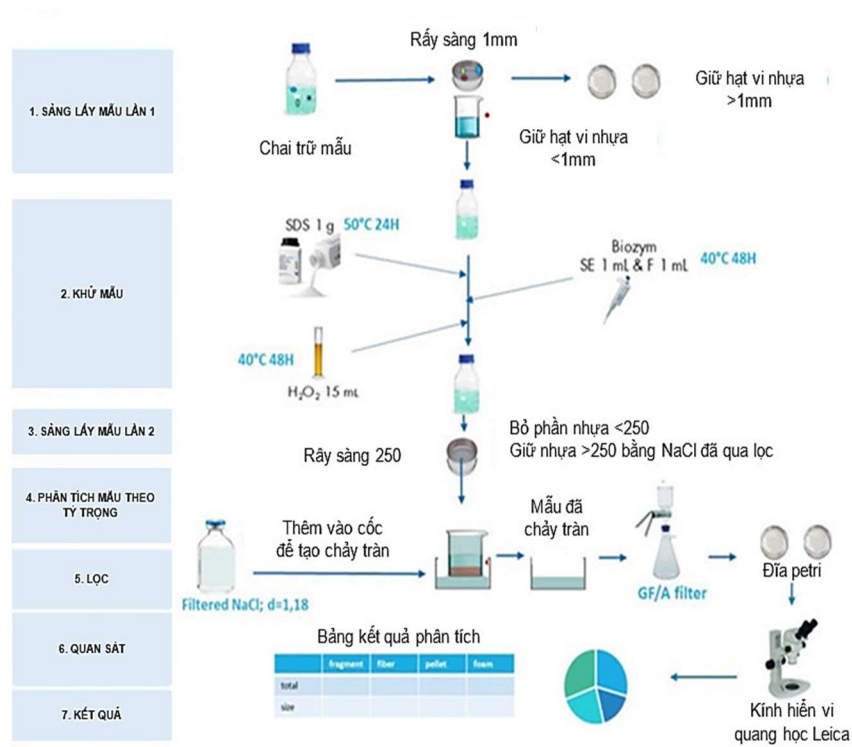
chai trong 2 phút, cho chai vào tủ sấy ở 40°C trong 48 h.

Bước 3: Sàng lấy mẫu lần 2

Chuyển dung dịch sau khử (bước 2) lên rây có cỡ lỗ $250 \mu\text{m}$ và rây mẫu. Đặt rây $250 \mu\text{m}$ lên trên cốc thủy tinh 1 L. Tráng sạch chai bằng nước lọc chứa trong bình tia để đảm bảo tất cả chất rắn từ chai thủy tinh được chuyển vào rây. Phần [$< 250 \mu\text{m}$] qua rây bị loại bỏ; phần [$\geq 250 \mu\text{m}$] trên rây được giữ lại. Chuyển phần có kích thước $\geq 250 \mu\text{m}$ vào cốc thủy tinh 100 mL và tráng rây bằng dung dịch NaCl 1,18 g/mL.

Bước 4: Tách vi nhựa từ mẫu

Tiến hành cho chảy tràn cốc thủy tinh để phân tách vi nhựa bằng dung dịch NaCl 1,18 g/mL. Thực hiện tách tỷ trọng ít nhất ba lần. Lọc dung dịch sau khi tách bằng phương pháp lọc với giấy lọc GF/A. Ghi chép số lượng giấy lọc được quan sát vào biểu dữ liệu. Giấy lọc được bảo quản trong đĩa petri nhựa để chờ phân tích vi nhựa. Vi nhựa sẽ được quan sát và đánh giá hình dạng, kích thước, màu sắc bằng kính hiển vi Leica S9i có trang bị máy ảnh với độ phân giải 10 megapixel.



Hình 3. Các bước phân tích hạt vi nhựa trong nước (Strady và cs., 2021)

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Kết quả phân tích các chỉ tiêu lý hóa được thống kê mô tả bằng phần mềm Microsoft Excel 2019. Để đánh giá hiệu suất xử lý nước qua các chỉ tiêu lý - hóa và vi nhựa giữa các nghiệm thức, phương pháp kiểm định *Kruskal wallis* với mức ý nghĩa 5% được thực hiện bằng phần mềm SPSS 20.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá hiệu suất xử lý của mô hình keo tụ - lắng

3.1.1. Kết quả thí nghiệm Jartest

Mục đích của thí nghiệm này là để xác định được liều lượng chất keo tụ và pH phù hợp, là cơ sở để vận hành mô hình keo tụ - lắng đạt hiệu suất cao. Hóa chất PAC 31% được cho với liều lượng khác nhau vào 6 cốc thủy tinh, dao động từ 1.200 - 1.450 mg/L. Nước thải công nghiệp tại bể thu gom được lấy để thực hiện thí nghiệm jartest có độ đục là $45,3 \pm 7,3$ NTU và pH là $6,13 \pm 0,1$. Sau Jartest, độ đục và pH của nước dao động lần lượt từ 8,40 - 10,40 NTU và 5,0 - 5,6 (Bảng 5).

Bảng 5. Sự thay đổi độ đục khi thay đổi liều lượng chất keo tụ và pH của thí nghiệm Jarrest

	Đơn vị	Cốc 1	Cốc 2	Cốc 3	Cốc 4	Cốc 5	Cốc 6
<i>Khi thay đổi liều lượng PAC</i>							
Liều lượng PAC	mg/L	1.200	1250	1.300	1.350	1.400	1.450
Độ đục	NTU	10,20	10,40	9,84	12,20	8,40	9,48
pH	-	5,0	5,3	5,5	5,5	5,5	5,6
<i>Khi thay đổi pH</i>							
pH	-	5,5	6,3	7,0	7,5	8,0	8,5
Độ đục	NTU	1,72	1,06	3,53	7,74	1,90	2,44

Dựa vào độ đục thấy rằng lượng PAC phù hợp nhất cho quá trình keo tụ - lắng là ứng với cốc có liều lượng được thêm vào 1.400 mg/L, với độ đục tương ứng là 8,40 NTU. Do vậy, liều lượng PAC này được chọn để thực hiện thí nghiệm xác định pH phù hợp cho quá trình keo tụ - lắng. Kết quả thí nghiệm tìm pH phù hợp cho thấy với liều lượng PAC là 1.400 mg/L, pH thay đổi từ 5,5 - 8,5 thì độ đục của nước dao động từ 1,06 - 7,74 NTU (Bảng 5). Có thể thấy rằng, cùng giá trị pH = 5,5 ở hai thí nghiệm nhưng độ đục của nước sau xử lý khác nhau. Nguyên nhân của hiện tượng này có thể là do hai thí nghiệm được thực hiện ở thời điểm khác nhau nên độ đục của nước đầu vào đã thay đổi. Việc không xác định độ đục của nước đầu vào ở thí nghiệm thay đổi pH là một hạn chế. Tuy nhiên, kết quả thí nghiệm đã cho thấy ứng với cùng liều lượng chất keo tụ, khi thay đổi pH thì hiệu quả xử lý nước của quá trình keo tụ - lắng khác nhau. Qua đó, pH phù hợp nhất cho quá trình keo tụ - lắng tìm được là 6,3, ứng với độ đục thấp nhất là 1,06 NTU.

Liều lượng chất keo tụ là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến quá trình keo tụ-lắng. Liều lượng chất keo tụ phù hợp vừa góp phần giảm lượng chất keo tụ sử dụng, vừa tối ưu hóa quá trình keo tụ - lắng (Wei và cs., 2015). Trong thí nghiệm Jarrest của nghiên cứu này, liều lượng PAC phù hợp đã được xác định là 1.400 mg/L. Khi cho PAC vào trong nước thải nó sẽ tạo thành các nhóm hydroxyl. Các nhóm này có

độ hòa tan kém, độ nhớt cao và tỉ trọng lớn hơn nước. Sau khi hình thành các chất này sẽ lắng chậm, trên đường đi nó sẽ kết dính các hạt keo, các chất ô nhiễm trong nước. Ngoài ra, hiệu suất của quá trình keo tụ - lắng cũng phụ thuộc nhiều vào pH qua sự thay đổi của độ đục trong thí nghiệm. Nhiều nghiên cứu cho thấy khi pH tăng, thế Zeta tăng, kích thước hạt cũng tăng dần. Nghiên cứu của Zhang và cs. (2023) cho thấy khi pH tăng từ 5,4 đến 8 hiệu quả loại bỏ chất ô nhiễm tăng bởi quá trình kết tủa.

3.1.2. Hiệu suất xử lý của mô hình keo tụ - lắng

Qua kết quả phân tích các chỉ tiêu hóa lý của các mẫu nước ở đầu vào và đầu ra của mô hình keo tụ - lắng cho thấy phương pháp keo tụ - lắng có hiệu suất khá cao như thể hiện ở Bảng 6. Hiệu suất xử lý độ đục của mô hình đạt 37,04%. Keo tụ - lắng được coi là quá trình quan trọng để loại bỏ phần lớn các chất rắn lơ lửng, nguyên nhân gây ra độ đục. Hiệu suất xử lý SS đạt 94,98%, cho thấy các chất rắn lơ lửng bị loại bỏ. Độ dẫn điện không thay đổi nhiều, giảm khoảng 20 μ S/cm. Độ pH có sự thay đổi từ trung tính xuống môi trường axit.

Hiệu suất loại bỏ hạt vi nhựa của quá trình keo tụ - lắng được thể hiện qua sự thay đổi số lượng hạt vi nhựa trong nước. Trong nước đầu vào mô hình keo tụ - lắng, lượng hạt vi nhựa trung bình $33 \pm 4,9$ vi nhựa/L. Số lượng hạt vi nhựa đầu vào tương đối thấp

so với lượng vi nhựa được quan sát đối với nước thải trong nghiên cứu của Sol Sánchez và cs. (2021), dao động từ 0 - 347 vi nhựa/L,

hay các nghiên cứu khác từ 1.860 đến 125.000 vi nhựa/m³ (Nguyen và cs., 2023).

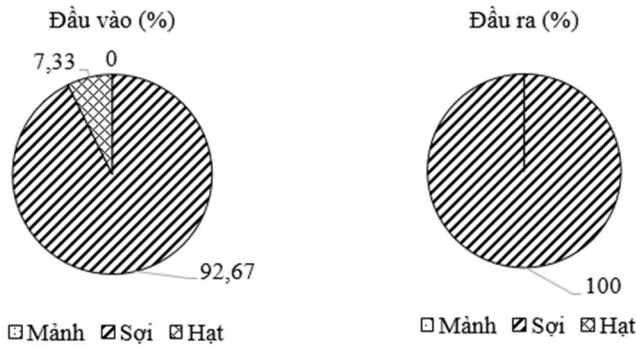
Bảng 6. Sự thay đổi giá trị các chỉ tiêu lý hóa của nước trước và sau khi keo tụ - lắng

Chỉ tiêu	Độ đục (NTU)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	SS (mg/L)
Đầu vào	36,00 ± 10	2.983,3 ± 157,0	6,69 ± 0,24	518,33 ± 107,3
Đầu ra	22,67 ± 1,3	2.960,0 ± 121,7	5,73 ± 0,15	34,67 ± 22,0

Trung bình ± độ lệch chuẩn với n = 3

Sự hiện diện của vi nhựa trong nước thải công nghiệp cần phải được xử lý đến mức thấp nhất có thể trước khi thải ra môi trường. Kết quả phân tích vi nhựa trong mẫu nước đầu vào mô hình keo tụ lắng cho thấy vi nhựa dạng sợi chiếm 92,67% và dạng hạt

là 7,33% và dạng mảnh là 0%, như thể hiện ở Hình 4. Sau quá trình keo tụ - lắng, lượng vi nhựa trung bình ở mẫu ra là 18 vi nhựa/L với 100% là dạng sợi. Qua đó cho thấy vi nhựa dạng hạt được loại bỏ hoàn toàn bởi quá trình keo tụ - lắng.



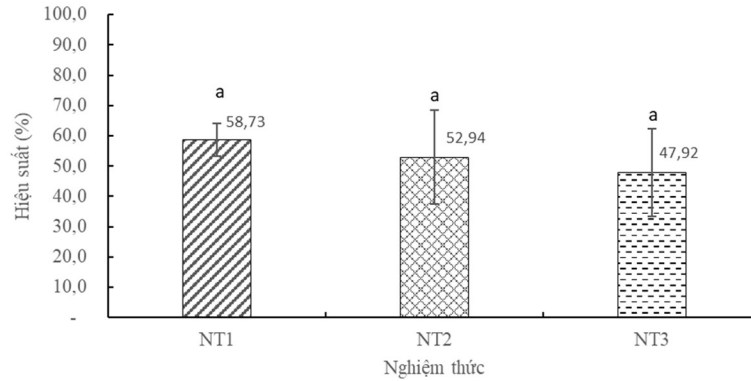
Hình 4. Tỷ lệ các loại hạt vi nhựa trong nước đầu vào và đầu ra quá keo tụ - lắng

Có thể thấy, quá trình keo tụ - lắng có hiệu suất loại bỏ khá thấp đối với vi nhựa dạng sợi trong nước, gần như hoàn toàn đối với dạng hạt. Các hạt vi nhựa có kích thước nhỏ, dễ dàng kết tụ với các chất rắn lơ lửng và lắng xuống trong quá trình keo tụ - lắng. Hiệu suất xử lý chung đối với vi nhựa của quá trình keo tụ - lắng là 45%. Kết quả này khá phù hợp với hiệu quả loại bỏ vi nhựa trong nghiên cứu của (Bayo và cs., 2021) với khả năng loại bỏ vi nhựa dạng hạt

(90,03%) cao hơn so với vi nhựa dạng sợi (56,16%).

3.2. Hiệu suất xử lý của mô hình lọc

Tiềm năng loại bỏ vi nhựa từ nước thải bằng mô hình lọc được đánh giá qua sự kết hợp các vật liệu lọc khác nhau tương ứng với 3 nghiệm thức. Kết quả thí nghiệm về hiệu suất xử lý hạt vi nhựa của từng nghiệm thức được thể hiện ở Hình 5.



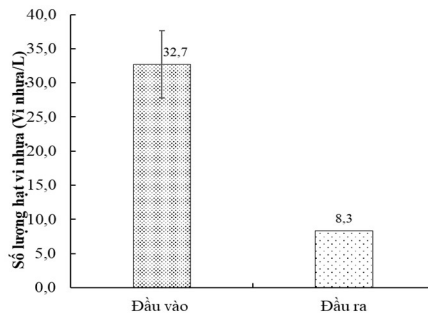
Hình 5. Hiệu suất xử lý vi nhựa ở các nghiệm thức lọc
Các cột có ký tự giống nhau thể hiện không có sự khác biệt giữa các nghiệm thức; Các cột có ký tự khác nhau thể hiện có sự khác biệt ở mức ý nghĩa 5% giữa các nghiệm thức.

Biểu đồ ở Hình 5 cho thấy hiệu suất loại bỏ vi nhựa giữa 3 nghiệm thức không có sự khác biệt ở mức ý nghĩa 5%. Hiệu suất loại bỏ vi nhựa ở 3 nghiệm thức từ 47,92 - 58,73%. Có thể thấy rằng, cả 3 nghiệm thức đều đạt kết quả loại bỏ hạt vi nhựa khá cao. Trong đó, cột lọc với cát thạch anh đồng nhất cho hiệu suất loại bỏ vi nhựa cao nhất, còn sự kết hợp giữa cát thạch anh và than hoạt tính gáo dừa cho hiệu quả thấp nhất. Vi nhựa được loại bỏ từ nước thải bằng phương pháp lọc bởi các cơ chế như bám dính trên bề mặt, bắt giữ tại các lỗ rỗng vật liệu hay lực hút tĩnh điện giữa vật liệu lọc và vi nhựa. Những loại vật liệu lọc khác nhau cho hiệu suất loại bỏ vi nhựa từ nước khác nhau. Chẳng hạn, môi trường lọc bằng hạt nhôm silicat có hiệu suất loại bỏ vi nhựa khỏi nước trên 96% (Shen và cs., 2021). Kết quả thí nghiệm này cũng cho thấy, sự kết hợp 2 loại vật liệu lọc (cát + than hoạt tính gáo

dừa) trong cột lọc cũng có khả năng loại bỏ vi nhựa, nhưng hiệu suất loại bỏ vi nhựa của cột lọc đa lớp này thấp hơn so với cột lọc cát và cao hơn so với cột lọc than hoạt tính gáo dừa. Bên cạnh đó, hiệu suất loại bỏ vi nhựa còn phụ thuộc vào kích thước hạt, hình dạng và loại vi nhựa (Umar và cs., 2023). Kết quả thí nghiệm ở nghiệm thức của mô hình lọc cho thấy các hạt vi nhựa dạng hạt cho kết quả loại bỏ tốt hơn các hạt vi nhựa dạng sợi và dạng mảnh.

3.3. Hiệu suất xử lý của sự kết hợp keo tụ - lắng và lọc

Kết hợp kết quả của các thí nghiệm keo tụ - lắng và các nghiệm thức của thí nghiệm lọc, với nước đầu ra của mô hình keo tụ - lắng được sử dụng làm nước đầu vào mô hình lọc. Kết quả loại bỏ vi nhựa của toàn hệ thống như thể hiện ở Hình 6.



Hình 6. Vi nhựa trong nước thải trước và sau khi qua hệ thống keo tụ - lắng kết hợp lọc

Lượng vi nhựa trong nước thải công nghiệp có sự thay đổi tùy thuộc vào các loại hình hoạt động sản xuất khác nhau khác nhau trong Khu công nghiệp. Ở đầu vào của mô hình keo tụ - lắng, mẫu nước được lấy là nước thải công nghiệp chưa xử lý nên lượng vi nhựa khá cao, $32,7 \pm 5,0$ vi nhựa/L. Ở đầu ra của mô hình lọc, nước được lấy phân tích vi nhựa với lượng vi nhựa là $8,3 \pm 0,3$ vi nhựa/L. Tương ứng với hiệu suất loại bỏ vi nhựa của toàn hệ thống là 74.49%.

Kết quả quan sát cho thấy sau khi qua công đoạn lọc, vi nhựa lớn hơn 250 μm được loại bỏ. Kết quả thí nghiệm này chứng minh rằng với sự kết hợp giữa 2 phương pháp keo tụ - lắng và lọc có thể loại bỏ đáng kể lượng vi nhựa trong nước thải. Tuy nhiên, vi nhựa không được loại bỏ hoàn toàn, đặc biệt là những loại có kích thước nhỏ. Các công nghệ lọc đã được áp dụng từ trước đó vẫn không thể loại bỏ hoàn toàn vi nhựa khỏi nước thải mặc dù kích thước lỗ vật liệu lọc rất nhỏ. Một số lượng đáng kể vi nhựa vẫn được giải phóng hàng ngày theo dòng nước thải từ các nguồn xả thải. Do vậy, các yếu tố ảnh hưởng đến việc loại bỏ vi nhựa bằng công nghệ lọc cần được tiếp tục nghiên cứu để nâng cao hiệu quả loại bỏ vi nhựa. Các công nghệ xử lý tiên tiến khác như bể phản ứng sinh học dạng màng cũng có thể cải thiện hiệu suất xử lý. Tuy nhiên, việc áp dụng các công nghệ cần tính đến tính chất phức tạp của nước thải cần xử lý.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã bước đầu cho thấy hiệu quả loại bỏ vi nhựa bằng phương pháp keo tụ - lắng và lọc bị ảnh hưởng bởi hình dáng, kích thước vi nhựa, cũng như loại chất keo tụ, vật liệu lọc và tính chất của nước thải. Phương pháp loại bỏ vi nhựa bằng sự kết hợp keo tụ - lắng và lọc đạt được kết quả loại bỏ vi nhựa khá cao so với khi chỉ sử dụng đơn lẻ một trong hai công đoạn. Quá trình keo tụ - lắng và lọc hỗ trợ cho

nhau trong quá trình loại bỏ vi nhựa: quá trình keo tụ - lắng giúp loại bỏ một lượng vi nhựa lớn khi bám vào bông cặn, đồng thời làm giảm độ đục, SS trong nước thải; giúp cho quá trình lọc có thể loại bỏ các vi nhựa còn lại. Qua đó làm tăng hiệu quả loại bỏ vi nhựa của hệ thống xử lý nước thải.

LỜI CẢM ƠN

Đề tài nghiên cứu được hỗ trợ từ nguồn kinh phí dành cho hoạt động nghiên cứu khoa học của Trường Đại học Cần Thơ. Nhóm tác giả xin cảm ơn quý đồng nghiệp công tác tại phòng nghiên cứu dự án CARE, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh và Phòng thí nghiệm Khoa Môi trường & Tài nguyên Thiên nhiên – Trường Đại học Cần Thơ đã hỗ trợ thiết bị phân tích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tài liệu tiếng Việt

Trịnh Xuân Lai. (2004). Xử lý nước cấp cho sinh hoạt và công nghiệp. Nhà xuất bản Xây Dựng.

2. Tài liệu tiếng nước ngoài

Acarer, S. (2023). Microplastics in wastewater treatment plants: Sources, properties, removal efficiency, removal mechanisms, and interactions with pollutants. *Water Science and Technology*, 87(3), 685-710.

Ali, I., Ding, T., Peng, C., Naz, I., Sun, H., Li, J., & Liu, J. (2021). Micro-and nanoplastics in wastewater treatment plants: occurrence, removal, fate, impacts and remediation technologies—a critical review. *Chemical Engineering Journal*, 423, 130205.

Bayo, J., Olmos, S., & López-Castellanos, J. (2021). Assessment of microplastics in a municipal wastewater treatment plant with tertiary treatment: Removal efficiencies and loading per day into the environment. *Water*, 13(10), 1339.

Chubarenko, I., Bagaev, A., Zobkov, M., Esiukova, E. (2016). On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 108(1-2), 105-112.

GESAMP. (2015). Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment; IMO/FAO/UNESCO/IOC/

- UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection: London, UK.
- Gkika, D.A., Tolkou, A.K., Evgenidou, E., Bikiaris, D.N., Lambropoulou, D.A., Mitropoulos, A.C., Kalavrouziotis, I.K., & Kyzas, G.Z. (2023). Fate and Removal of Microplastics from Industrial Wastewaters. *Sustainability*, 15, 6969.
- Hackett, B., Breivik, Ø., Wettre, C. (2006). Forecasting the drift of objects and substances in the ocean. In: Ocean Weather Forecasting: An Integrated View of Oceanography. Chassignet E.P., Verron J. (Eds.). *Springer*. Pp. 507-523.
- Lapointe, M., Farner, J. M., Hernandez, L. M., & Tufenkji, N. (2020). Understanding and improving microplastic removal during water treatment: impact of coagulation and flocculation. *Environmental Science & Technology*, 54(14), 8719–8727.
- Liu, W., Zhang, J., Liu, H., Guo, X., Zhang, X., Yao, X., Cao, Z., Zhang, T. 2021. A Review of the Removal of Microplastics in Global Wastewater Treatment Plants: Characteristics and Mechanisms. *Environment International*, 146, 106277.
- Masiá, P., Sol, D., Ardura, A., Laca, A., Borrell, Y. J., Dopico, E., Laca, A., Machado-Schiaffino, G., Díaz, M., & Garcia-Vazquez, E. (2020). Bioremediation as a promising strategy for microplastics removal in wastewater treatment plants. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111252.
- Nguyen, P.-D., Tran, Q.-V., Le, T.-T., Nguyen, Q.-H., Kieu-Le, T.-C., & Strady, E. (2023). Evaluation of microplastic removal efficiency of wastewater-treatment plants in a developing country, Vietnam. *Environmental Technology & Innovation*, 29, 102994.
- Rajala, K., Grönfors, O., Hesampour, M., & Mikola, A. (2020). Removal of microplastics from secondary wastewater treatment plant effluent by coagulation/flocculation with iron, aluminum and polyamine-based chemicals. *Water Research*, 183, 116045.
- Shen, M., Hu, T., Huang, W., Song, B., Zeng, G., & Zhang, Y. (2021). Removal of microplastics from wastewater with aluminosilicate filter media and their surfactant-modified products: Performance, mechanism and utilization. *Chemical Engineering Journal*, 421, 129918.
- Sol, D., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2020). Approaching the environmental problem of microplastics: Importance of WWTP treatments. *Science of the Total Environment*, 740, 140016.
- Sol Sánchez, D., Laca Pérez, A., Laca Pérez, A., & Díaz Fernández, J. M. (2021). Microplastics in wastewater and drinking water treatment plants: occurrence and removal of microfibrils. *Applied Sciences (Switzerland)*.
- Strady, E., Dang, T. H., Dao, T. D., Dinh, H. N., Do, T. T. D., Duong, T. N., ... & Chu, V. H. (2021). Baseline assessment of microplastic concentrations in marine and freshwater environments of a developing Southeast Asian country, Viet Nam. *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111870.
- Umar, M., Singdahl-Larsen, C., & Ranneklev, S. B. (2023). Microplastics removal from a plastic recycling industrial wastewater using sand filtration. *Water*, 15(5), 896.
- Wang, Z., Sedighi, M., & Lea-Langton, A. (2020). Filtration of microplastic spheres by biochar: removal efficiency and immobilisation mechanisms. *Water Research*, 184, 116165.
- Wei, N., Zhang, Z., Liu, D., Wu, Y., Wang, J., & Wang, Q. (2015). Coagulation behavior of polyaluminum chloride: Effects of pH and coagulant dosage. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 23(6), 1041-1046.
- Wolff, S., Weber, F., Kerpen, J., Winklhofer, M., Engelhart, M., & Barkmann, L. (2020). Elimination of Microplastics by Downstream Sand Filters in Wastewater Treatment. *Water*, 13, 33.
- Zhang, L., Liu, X., Zhang, M., Wang, T., Tang, H., & Jia, Y. (2023). The effect of pH/PAC on the coagulation of anionic surfactant wastewater generated in the cosmetic production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 109312.